

I-112

コンクリートの靱性評価に関する実験と数値解析

東北大学工学部 学生員 仲 沢 武 志
日本大学理工学部 正 員 色 部 誠

1. まえがき

コンクリートに対する材料力学的研究は数多くなされているが、その破壊メカニズムについては、未だ十分に明らかにされていない。現在、コンクリートの真の強度あるいは破壊メカニズムの解明が要求されている。そこで、本研究では、コンクリートの破壊が、比較的枝分かれのないクラックの発生・進展を伴うことに着目し、切欠き先端での応力状態の研究から発展した線形破壊力学の適用を試みた。

コンクリートに線形破壊力学を適用した研究例は少なく、よってその適用性や適用結果に対する徹底した検討は未だ行なわれてはいないのが現状であろう。

以下に、本研究において、応力拡大係数によって破壊靱性を求め、それを換算したエネルギー解放率を用いてのクラック伝播解析を行なった結果について述べる。

2. 実験概要

表-1 使用材料配合表

w/c(%)	W(kgf)	C(kgf)	s/a(%)	G(kgf)	S(kgf)
50	181	362	47	950	827

破壊力学で定義されているモードⅠの破壊およびモードⅠとモードⅡの組合せによる破壊について考察できるように両側に切欠きを有する供試体での引張試験（図-1）と片側に切欠きを有する供試体での曲げ試験（図-2）を実施した。

試験に用いたコンクリートの配合を表-1に、標準試験により得られたコンクリートの強度および材料定数を表-2に示す。なお、引張試験では引張金具と供試体をスイスで開発された金属用冷間溶接剤ペロメタルで接着した。また、曲げ試験は、図-2に示したように中央部に切欠きを入れた供試体の他に、中央から7.5cm, 10.0cmに切欠きを入れた供試体についても実験を行なった。

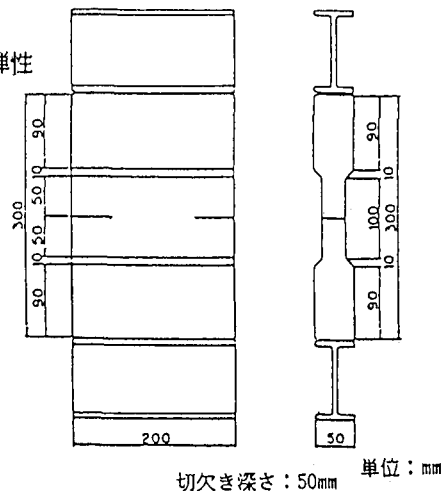
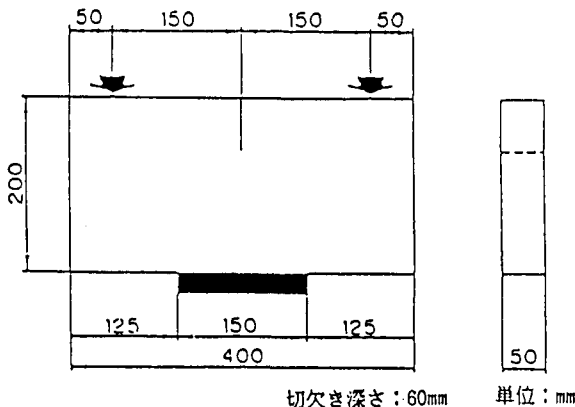
表-2 標準試験結果

28日平均圧縮強度 (kgf/cm ²)	28日平均割裂強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	ポアソン比
309.4	34.06	270000	0.195

3. 実験結果とその解析

3.1 破壊靱性の算出および適用

コンクリートが引張応力の卓越する領域において線形弾性



一ぜい性破壊材料であるとの仮定に基づき、破壊発生荷重を外力としたときの有限要素弾性解析で求められる要素の応力または節点変位によって応力拡大係数を算出する。まず引張試験における応力拡大係数を算出する。図-3および図-4は引張試験における実験結果であるが、両図より、各荷重レベルに対する材料の応答が線形から外れる荷重は800kgfとみなせる。この供試体の破断荷重は920kgfであるが、クラック発生荷重を800kgfとして解析する。定ひずみ三角形要素を用いた外挿法により得られる外力800kgfでの応力拡大係数は応力法で53.0 kgf/cm^{3/2} 変位法では48.0kgf/cm^{3/2} であり、平均で50.5kgf/cm^{3/2} である。以後、この応力拡大係数を本研究に用いたコンクリートの破壊靱性とし、これを基準に曲げ試験の破壊荷重を予測した。その結果を表-3に示す。なお、混合モードにおける相関関係は、Erdogan, Sih の $(\sigma_\theta)_{\max}$ 理論¹⁾ を採用し、切欠き先端の要素には1/4 点要素²⁾ を用いた。

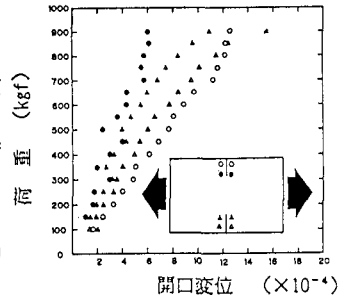


図-3 引張試験片に対する荷重-開口変位曲線

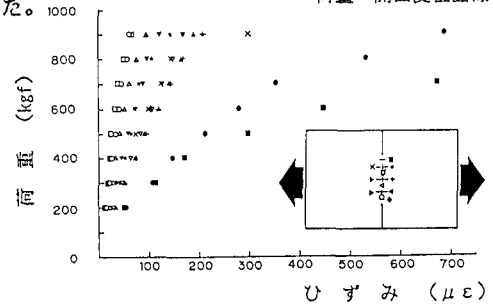


図-4 引張試験における荷重-ひずみ曲線

3.2 混合モードに対するクラック伝播解析

混合モードに対応する曲げ試験に対しては、クラック伝播解析を行なった。クラック発生基準はクラック発生応力拡大係数 (50.5kgf/cm^{3/2}) をエネルギー解放率に換算し、それを用いた。それより得られた破壊荷重もまた表-3に併記した。また、クラック進展方向を、クラック先端近傍の応力場の1次主応力に直交する方向とした場合のクラック経路を実験結果と共に図-5に示す。

表-3 解析および実験での破壊荷重

no.	方法	外挿法 (kgf)	$(\sigma_\theta)_{\max}$ 理論 (kgf)	エネルギー解放率 (kgf)	実験結果 (kgf)
(1)	引張試験	800	800	—	920
(2)	曲げ試験 (切欠き中央)	800	800	—	2000
(3)	曲げ試験 (切欠き7.5cm)	—	1100 (36.0)	1100 (31.0)	2300 (30.0)
(4)	曲げ試験 (切欠き10.0cm)	—	1200 (47.4)	1200 (42.0)	2100 (50.0)

注) (3) および (4) におけるカッコ内の数字は、初期クラック進展方向を示している。

4. 結 論

本研究では、コンクリートを線形弾性体として取扱った。この仮定から表-3に示すように、実験結果は解析結果の約2倍となった。これは、コンクリートの破壊を破壊力学に基づいて考察する場合、非線形性等を考慮すべきであろうことを暗示しているように思われる。

しかし、クラックパターンについては、ここでの取扱い方法で比較的良好な一致を得ることができた。

本研究では、線形破壊力学による取扱いでコンクリートの破壊を考察した。今後、コンクリートの特性を加味した解析を進めたいと思っている。

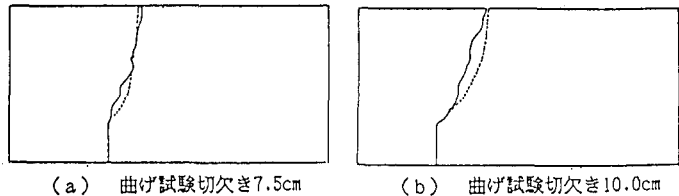


図-5 実験および解析におけるクラックパターン

- 1) Shi, G.C. and Ditommaso, A. (eds.), "Fracture Mechanics of Concrete: Structural Application and Numerical Calculation", Martinus Nijhoff Publisher, 1984
- 2) Barsoum, R.S., "Triangular Quarter Point Elements as Elastic and Perfectly-Plastic Crack Tip Elements", International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 11, 1977, pp. 85-98